

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

J1000 U.S. PTO

10/032563



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2001年 1月29日

出願番号
Application Number:

特願2001-019549

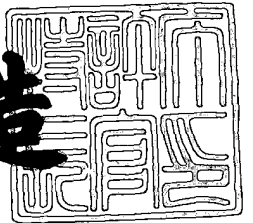
出願人
Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2001年 8月31日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3080928

【書類名】 特許願

【整理番号】 2925020106

【提出日】 平成13年 1月29日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/20

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内

【氏名】 石田 昌宏

【特許出願人】

【識別番号】 000005843

【氏名又は名称】 松下電子工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097445

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011316

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

特2001-019549

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809939

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物半導体基板の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】母材基板主面に凹凸を設ける第 1 の工程と、前記母材基板上に、前記凹凸を埋め込む窒化物半導体層を形成する第 2 の工程と、前記母材基板と前記窒化物半導体層との界面にレーザ光を照射する第 3 の工程とを有する、窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 2】前記第 3 の工程は、少なくとも前記母材基板の前記凹凸の凸部に前記レーザ光を照射する工程であることを特徴とする、請求項 1 に記載の窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 3】前記凸部は線状に連なっており、前記第 3 の工程は前記レーザ光を前記凸部に沿って走査する工程であることを特徴とする請求項 2 に記載の窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 4】前記凸部は複数に分散して設置されており、前記第 3 の工程は前記レーザ光の光軸を前記凸部に同期して走査しつつ前記レーザ光をパルス照射する工程であることを特徴とする請求項 2 に記載の窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 5】前記凸部は複数に分散して設置されており、前記第 3 の工程は前記レーザ光の一照射により複数の前記凸部に照射する工程であることを特徴とする請求項 2 に記載の窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 6】前記凹凸の凹部が占める面積は、前記凹凸の凸部が占める面積の 1 / 5 倍以上 1 0 0 倍以下であることを特徴とする、請求項 1 に記載の窒化物半導体基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、可視発光ダイオード装置や青紫色レーザ装置に用いる窒化物半導体基板の製造方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

GaN、InN、AlN等の窒化物半導体は、青色や緑色のLEDや、青色半導体レーザ、高温動作可能な高速トランジスタなどに用いる材料として好適である。窒化物半導体を成長させるための基板としては、従来よりサファイア基板（例えば、特許第3091593号に開示）などが知られているが、サファイアなど異種基板上へ窒化物半導体の成長では、窒化物半導体と異種材料基板との熱膨張係数の差によって、基板の反り、クラックの発生、それらに伴う結晶性の悪化が発生することが知られている。

【0003】

そこで近年、窒化物半導体基板上にデバイスを作製することで、上記諸問題を解決させる試みがなされている。窒化物半導体基板の作製方法の一つとして、母材基板上に窒化物半導体層を厚く形成し、レーザ光によって窒化物半導体層を母材基板界面で局所的に加熱し、昇華させ、母材基板から窒化物半導体層を剥離させることが検討されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、レーザ光によって剥離を行う場合、レーザ光の走査の途中では、窒化物半導体層と母材基板の一部が剥離され、他の部分で接触したままであるという状態になり、その際、窒化物半導体層と母材基板の接触が残っている部分に応力が集中して、窒化物半導体層中にクラックが発生する課題が存在した。そのため、室温付近のレーザ光照射で歩留よく窒化物半導体基板を製造することが困難であった。それを回避するため基板温度を上昇させてレーザ照射を行う技術が知られているが、それでは、基板の昇温、降温に時間がかかり、やはり量産性に課題があった。

【0005】

また、母材基板上に窒化物半導体を成長させたときに、格子不整合による貫通欠陥が窒化物半導体中に導入されるため、得られた窒化物半導体基板は欠陥密度が多いものになってしまうという課題があった。

【0006】

しかも、レーザ光は小さく集光されているため、基板全体を剥離するためには

効率よいレーザ照射を行う方法を提供する必要があった。具体的に、レーザ光は窒化物半導体の昇華を起こすために光密度を1平方センチメートルあたり約0.

1 J以上とする必要があり、それを達成するためレーザ光のビーム径が小さく集光されている。そのため、ビーム径は基板面積より小さく、レーザ光を走査する必要がある。窒化物半導体層全体を剥離するには、時間をかけて基板を細かく走査しながら窒化物半導体層全体にビームを照射する必要がある。したがって、クラックの発生を防ぎ、窒化物半導体の結晶性を良好にしつつ、照射工程では従来よりレーザ照射数が増えない方法、より好ましくはレーザの照射数を低減できる方法を提供する必要があった。

【0007】

上記に鑑み、本発明は、レーザ光照射による窒化物半導体基板の製造において、窒化物半導体層中にクラックなどを発生させることなく、低欠陥密度の窒化物半導体基板を得る手段を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明の窒化物半導体基板の製造方法は、以下に示す構成よりなるものである。

【0009】

本発明の窒化物半導体基板の製造方法は、母材基板主面に凹凸を設ける第1の工程と、前記母材基板上に、前記凹凸を埋め込む窒化物半導体層を形成する第2の工程と、前記母材基板と前記窒化物半導体層との界面にレーザ光を照射する第3の工程とを有することを特徴とする。

【0010】

このようにすることで、照射工程途中での応力は、凹部上の窒化物半導体が剥離することで開放され、クラックや割れのない窒化物半導体基板を製造する方法を提供することができる。

【0011】

本発明の窒化物半導体基板の製造方法において、前述のレーザ光を照射する工程は、少なくとも前記母材基板の前記凹凸の凸部に前記レーザ光を照射する工程

とすることが好ましい。このようにすることで、レーザ照射工程に要する時間を短縮することができる。

【 0 0 1 2 】

本発明の窒化物半導体基板の製造方法は、係る構成につき、前記凸部は線状に連なっており、前記第 3 の工程は前記レーザ光を前記凸部に沿って走査する工程であることが好ましい。このようにすることで、効率よいレーザ光の走査で基板を製造する方法を提供することができる。

【 0 0 1 3 】

本発明の窒化物半導体基板の製造方法は、係る構成につき、前記凸部は複数に分散して設置されており、前記第 3 の工程は前記レーザ光の光軸を前記凸部に同期して走査しつつ前記レーザ光をパルス照射する工程であることが好ましい。このようにすることで、効率よいレーザ光の走査とパルス照射で基板を製造する方法を提供することができる。

【 0 0 1 4 】

本発明の窒化物半導体基板の製造方法は、係る構成につき、前記凸部は複数に分散して設置されており、前記第 3 の工程は前記レーザ光の一照射により複数の前記凸部に照射する工程であることが好ましい。このようにすることで、一度に多くの凸部を照射して、照射時間を短縮する方法を提供することができる。

【 0 0 1 5 】

本発明の窒化物半導体基板の製造方法において、前記凹凸の凹部が占める面積は、前記凹凸の凸部が占める面積の $1/5$ 以上 100 倍以下であることが好ましい。このようにすることで、窒化物半導体基板の割れやクラックの発生を防ぎ、かつ、母材基板から窒化物半導体基板全面を分離することができる。

【 0 0 1 6 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【 0 0 1 7 】

（実施の形態 1）

図 1 から図 3 を参照しながら、本発明の第 1 の実施の形態における G a N 基板

の製造方法を説明する。

【0018】

図1(a)の基板1は直径2インチ、厚さ700ミクロンのサファイア（酸化アルミニウムの単結晶）であり、表面、裏面ともに鏡面仕上げとなっている。表面の面方位は(0001)面である。

【0019】

基板1はサファイアより構成されており、サファイアバンドギャップは8.7 eVであるため、バンドギャップに相当するエネルギーの142.5 nmより大きな波長の光は透過する。そのため、波長248 nmのKrFエキシマレーザー光や波長355 nmのNd:YAGレーザーの3次高調波光を透過することができる。

【0020】

まず、第1の工程である凹凸形成工程を行う。

【0021】

このサファイア基板1にフォトリソグラフィーを用いて、レジスト2を設置した。(図1(b))。レジスト2の厚さは2 μmとした。レジスト2の幅が30 μm、レジスト2の開口部の幅が10 μmのストライプパターンで、ストライプ方向はサファイアの[1-100]方向である。

【0022】

なお、本明細書においては、[1-100]方向とは、 $\langle 1-100 \rangle$ 方向と等価な方向のいずれかを指すものであって、特定の一方向を指すものではない。 $\langle 1-100 \rangle$ と等価な方向は、 $\langle 1-100 \rangle$ 、 $\langle -1100 \rangle$ 、 $\langle 01-10 \rangle$ 、 $\langle 0-110 \rangle$ 、 $\langle 10-10 \rangle$ 、 $\langle -1010 \rangle$ である。また、本明細書では、1の上にバーを設ける(1バーとよぶ)標記に変えて、「-1」と標記している。同様に、{1-100}面とは、(1-100)面と等価な方向のいずれかを指し、ある特定の1面を指すものではない。

【0023】

リアクティブイオンエッチング（以下RIEと略す）を用いて、サファイア基板のエッチングを行った。エッチングガスとして塩素ガスを用い、5 Paの圧力

下で、200Wのプラズマを発生し、1時間エッチングを行って深さ1 μ mの溝を形成した(図1(c))。なお、この工程では200Wものパワーのプラズマを用いているため、レジスト2も若干エッチングされている。

【0024】

エッチングの後、レジスト2を除去して凹凸を有する母材基板が得られた(図1(d))。パターン形状は、図2の断面図に示すように、凸部1aが10 μ mの幅に対し、左右約0.5 μ mサイドエッチングされている。凹部1bは底部において30 μ mである。図2の平面拡大図に示すように、サファイアの[1-100]方向をストライプ方向とする凹凸が形成された。

【0025】

次に、第2の工程である窒化物半導体層の成長を行った。

【0026】

アンモニアと、Ga金属とHClを約900℃程度の高温で反応させて生じるGaClとを原料とするハイドライド気相成長法(以下、HVPE法と称する)によりGaNの成長を行った。圧力は大気圧下で成長を行った。

【0027】

サファイア上へGaNの核形成密度を増加させるため、GaNの成長に先立って基板温度を1000℃に保ち、GaClのみを15分間供給する(以下、このプロセスをGaCl処理と呼ぶ)。なお、核形成密度を増加させる目的では、GaCl処理に替えて低温バッファ層やアンモニアでサファイアを窒化する処理を行っても良いし、これらを組み合わせても良い。

【0028】

GaCl処理後、アンモニアを導入してGaN層3の成長を開始する。サファイア基板1の主面が(0001)面であるため、GaN層3は(0001)面を主面として成長する。1000℃の成長温度では、(0001)面の成長速度より、主面以外の面の成長速度、いわゆる横方向への成長速度が速く、2~3倍程度の速さとなる。そのため、凹部1bは次第に埋め込まれていく。なお、埋め込みを行うためには、GaNの厚さを凹部1bの幅以上とすることが好ましい。

【0029】

ストライプ方向をサファイア基板 1 の $[1-100]$ 方向としており、サファイアと GaN との面内の面方位が 30° ずれて成長するという事情のため、凹部を埋め込むときの GaN の斜面は、平坦な $\{1-101\}$ 面により構成される。そのため、成長を続けていくと、ピットなどを生じずに、凹部 1 b は平坦に埋め込み成長される。

【0030】

GaN 層 3 の厚さが凸部 1 a 上で $200\mu\text{m}$ となるまで成長を行った。凹凸は埋め込まれ、平坦な表面の GaN 層 3 が得られた。

【0031】

室温付近まで基板温度を降下させ、基板を取り出した。GaN 層 3 とサファイア基板 1 との熱膨張係数差のため、反りを生じた (図 1 (e))。サファイア基板 1 と GaN 層 3 が全面で接している場合に比べ、凹凸があるために、生じる反りが小さくなり、ストライプ方向の曲率半径が 80cm 程度、ストライプと垂直な方向の曲率半径が 1m 程度となった。なお、凹凸を設けないときの曲率半径を別途調べると、 60cm 程度であった。

【0032】

次に、第 3 の工程であるレーザ照射工程を行った。

【0033】

レーザ照射は、図 3 に示すような装置を用いた。レーザ装置 4 より発せられた光 10 をスキャンレンズ 5 によって 2 次元に走査する構成となっている。また、集光手段 6 によって、GaN 層 3 上でのレーザ光の径を調整することができる。さらに、レーザ光 10 の透過率が高く可視光の反射率が高いミラー 7 を介して画像認識手段 8 を有することで、可視光 9 で示すようにレーザ照射位置を認識して照射位置を制御すべくスキャンレンズ 5 を制御しながら照射を行うことができる。

【0034】

本実施の形態ではレーザ光源は波長 355nm の Nd : YAG の 3 次高調波とした。パルス幅は 30ns でパルス周期は 50kHz とした。レーザ光を集光して $20\mu\text{m}$ 径の円形とすることで、 $1.0\text{J}/\text{cm}^2$ の光密度とした。レーザ光

はサファイアに対して透明であるので、サファイア基板 1 を通して、G a N 層 3 に照射した。

【 0 0 3 5 】

照射の際、G a N 層 3 が若干反っている為、集光手段 6 を調整してスポット径が一定となる制御を行うことが好ましい。

【 0 0 3 6 】

レーザ光は凸部 1 a に沿って照射した。凸部 1 a を連続的に照射するため、走査速度を 5 0 c m 毎秒とした。このとき、隣り合う照射位置の中心間隔は 1 0 μ m となり、レーザ光の径の 2 0 μ m より小さいので、G a N 層 3 とサファイア基板 1 とが直接接している部分を連続的に照射することができる。しかも、パルス照射時に走査を止めることなく、光軸を走査したままで照射を行っても連続的に照射することができる。

【 0 0 3 7 】

図 1 (f) は照射工程途中の断面図である。図を明瞭に示すためハッチングは施していない。

【 0 0 3 8 】

レーザ光照射を行うと G a N 層 3 はレーザ光を吸収して加熱される。パルス幅が 3 0 n s と短くかつ光密度が強いので、G a N 層 3 は、レーザ光照射された部分のみ局所的に加熱される。その熱のため、G a N 層 3 は照射部分が分解され、G a l l と窒素を生じる。なお、本実施の形態では、凸部 1 a の幅よりレーザ光の径のほうが大きいので、凹部 1 b 上にも G a l l を生じる領域が発生する。

【 0 0 3 9 】

G a l l は 2 5 $^{\circ}$ C 以上では液体であり、それ以下の温度でも非常に軟らかい材料であるので、G a l l を介してのサファイア基板 1 と G a N 層 3 との付着力は非常に弱くなる。そのため、熱膨張係数差による応力が、サファイア基板 1 と G a N 層 3 の結合が残存している部分に集中することとなる。また、分解によって窒素が発生するので、分解した周辺の部分は非常に圧力が高い状態となる。

【 0 0 4 0 】

本実施の形態では、凹凸のある母材基板 1 上に G a N 層 3 を成長している。そ

のため、GaN層3に加わる力は図4の断面図に示すようになっている。図4は、図を明瞭に示すためハッチングを施していない。平面の基板上にGaN層を成長させたときは面全体で熱膨張係数差による応力を受けているが、本実施の形態では、GaN層3中では隣り合う凸部1aの上部を結ぶ領域20に応力が集中する。しかも、GaN層3は熱膨張係数が小さいため、下に熱膨張係数が大きいサファイア基板1があると、膨張しようとする方向に応力21を発生する。それに対して、サファイア基板1は収縮しようとする方向に応力22を発生し、凹部1aのGaN層3を圧縮する。応力21と応力22とが、凸部1aの上部から主面に平行な方向にGaN層3を切断しようとする力となって働く。図4に示すような、応力21と応力22によって、GaN層3内にクラック23を生じる場合もある。ただし、成長後の状態では凸部1aにおいてGaN層3とサファイア基板1が結合しているため、GaN層3は容易には切断されない。

【0041】

レーザ照射によって、凸部1aにおけるGaN層3とサファイア基板1との結合部分が分解した上、さらに高圧の窒素ガスが発生すると、応力21、応力22と、さらに窒素ガスがGaN層3を押す力とが、凹部1b上のGaN層3に集中する。しかも、GaN層3は主面が(0001)面であるので、主面に平行な面で劈開されやすい性質を有している。

【0042】

したがって、レーザ照射によって、凸部1a上でGaN層3が分解されると、応力は凹部1b上に加わり、GaN層3が凹部1b上で(0001)面に沿って割れる。また、高圧の窒素も、GaN層3が凹部1b上で分離することで発散される。後述のような好ましい凹凸の形状としておくと、一回の凸部1aへの照射によって隣接する凹部1bは半分以上の面積が割れて分割される。したがって、各凸部1aへの照射を繰り返すと、凹部1bが完全に分離できる。

【0043】

なお、本実施の形態では、レーザ光を凹凸を有する母材基板を通して主面に垂直に照射しているため、凸部1aの斜面では、照射強度が若干低下して、分解が完全に起こらない。上述のメカニズムのように、凸部1aの上部における応力が

、分離に重要な役割を果たしており、凸部 1 a の斜面での分解は分離にはあまり寄与しない。むしろ分離せず結合したままのほうが、凸部 1 a の上部へ応力を集中させることに効果がある。そのため、斜面の角度は垂直に近いほど好ましく、 30° 以上とする。

【 0 0 4 4 】

以上のようなメカニズムによって、本実施の形態ではレーザ照射工程中に GaN 層 3 の主面に垂直方向に伸展するクラックが生じることは無かった。

【 0 0 4 5 】

凸部 1 a と接している GaN 層 3 をすべてを照射することで、サファイア基板の凹部 1 b に GaN 3 a を残して、サファイア基板 1 と GaN 層 3 とが分離された (図 1 (g))。

【 0 0 4 6 】

最後に、HCl によって Ga 1 1 を除去し、研磨によって GaN 層 3 裏面の凹凸を除去して GaN 基板 3 を得た。GaN 基板 3 は、2 インチの大きさであり、厚さは $180\mu\text{m}$ でクラックはなく自立していた (図 1 (h))。

【 0 0 4 7 】

本実施の形態では、凸部 1 a のみ照射しているため、従来のように基板全面を照射するのに比べて照射工程を低減することができる。本実施の形態では、凸部 1 a の総面積は基板面積の $1/4$ であるため、照射時間は少なくとも $1/4$ とすることができる。実際には、基板全面を照射する場合ではレーザ照射位置が互いに重なるように照射するため、照射時間は $1/4$ 以下とすることができる。具体的に、 $20\mu\text{m}$ 径のレーザで、照射位置が互いに $10\mu\text{m}$ 重なるようにした場合、本実施の形態では 2 インチ基板に対しておよそ 4 分でレーザ照射工程が終了した。一方、従来のように基板全面を $10\mu\text{m}$ 重なるように照射すると、レーザ照射工程に、およそ 30 分もの時間が必要である。

【 0 0 4 8 】

また、本実施の形態では、凸部 1 a が連なってストライプ状となっているため、光軸の走査が単純となり、効率的に照射を行うことができる。

【 0 0 4 9 】

また、本実施の形態では、凹凸を有するサファイア基板上にGaN層3を埋込成長した結果、図5に示すように凹部1b上で貫通欠陥30が中央に向かって伸展し、幾つかの貫通欠陥30が結合して、貫通欠陥30が低減された。GaN層3表面での貫通欠陥密度は凹部1b上で $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ であった。なお、このGaN基板3を用いてデバイスを作製する場合は、貫通欠陥30が低減された領域にデバイスの機能領域を設けるのが好ましい。なお、凹部1b以外の領域の貫通欠陥は、凸部1a上のGaN層3に凹部を設置するようにして凹凸を設け、再度凹凸上への成長を行うことで低減できる。なお、サファイア基板上に通常に成長したGaNでは、 $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 程度の欠陥密度である。

【0050】

以上示したように、レーザ照射時間を $1/4$ 以下と著しく低減した上に、欠陥密度を低減したGaN基板を得ることができた。

【0051】

なお、本実施の形態では凹凸の形成方法はRIEとしたが、凹凸の形成条件や方法は特に限定するものではなく、イオンミリングやECREッチングなどを用いることができる。

【0052】

なお、本実施の形態では凹部1bの深さを $1 \mu\text{m}$ としたが、浅くしすぎると、凹部上でのGaN層3が受ける応力が小さくなり、GaN層3が(0001)面に沿って分割されにくくなる。凹部1bの深さは、深いほうが好ましく、好ましくは $0.1 \mu\text{m}$ 以上とするのが良い。

【0053】

なお、本実施の形態ではストライプ方向をサファイアの[1-100]方向としたが、母材基板によって母材基板とGaNの面方位の関係が異なる場合がある。その場合はGaNの[11-20]方向がストライプ方向となるようにすることが好ましいことは言うまでもない。例えば、母材基板としてSiCやAlNを用いた場合には、母材基板とGaNの面方位が一致するので、ストライプ方向を[11-20]とすることが好ましい。

【0054】

なお、本実施の形態では、GaN 3 の成長温度を 1 0 0 0 °C としたが、凹凸を平坦に埋め込むためには好ましい温度範囲があり、9 0 0 °C 以上とすることが好ましい。また、温度を高くするほど凹凸が埋め込まれやすい傾向がある。一方、温度を極端に高くすると GaN の成長よりも昇華が支配的となり成長が行われなくなるため、本実施の形態の条件付近では、成長温度は 1 5 0 0 °C 以下とすることが好ましい。

【0 0 5 5】

なお、本実施の形態では、凹部 1 b の幅を 3 0 μ m、凸部 1 a の幅を 1 0 μ m としたが、凹凸の好ましい形状の範囲がある。凹部 1 b の幅の上限は、凸部 1 a のみの照射で、(0 0 0 1) 面に沿っての分割が行われ、基板全体の剥離が行われるようにすべく決定され、凸部の幅の 1 0 0 倍以下とするのが好ましい。一方、凹部 1 b の幅は狭くしすぎると、照射を行ったときの応力が開放されず、GaN 層 3 中に、主面に垂直な方向のクラックを生じて、2 インチの基板が得られなくなる。そこで、好ましくは凸部の幅の 1 / 5 以上とするのが良い。

【0 0 5 6】

なお、本実施の形態ではレーザー光密度を 1 . 0 J / c m² としたが、レーザー光密度の光密度には下限があり、GaN 層 3 を分解できる以上の光密度が必要である。GaN 層 3 を分解するために必要な光密度は、GaN 層 3 に直射した場合において、おおよそ 0 . 1 m J / c m² 以上である。GaN 層 3 に到達した時点ではサファイア基板 1 表面や GaN 層 3 とサファイア基板 1 との界面での反射や散乱などにより、十数 % GaN 層 3 に到達する光が低減されていると考えられる。

【0 0 5 7】

なお、本実施の形態では凸部 1 a をストライプのパターンとしたが、他のパターンでも、直線状に連なったパターンであればレーザー光軸の走査が単純となり好ましい。より好ましくは、渦巻状のような一筆書きのパターンとすると、1 回の走査で基板全体をレーザー照射できるので好ましい。なお、上述のように、この際においても、凸部 1 a のパターンは、GaN の { 1 - 1 0 0 } 面が側面となるように設置することがより好ましい。

【0 0 5 8】

なお、本実施の形態ではレジスト 2 をエッチングのマスクとしたが、他の材料でも、サファイアとの選択比が極端に小さくない限り使用することが可能である。そのような材料として、 SiO_2 、 SiN などの誘電体膜のほか、ニッケル、金、タングステンなどの金属が挙げられる。

【 0 0 5 9 】

(実施の形態 2)

図 6 から図 7 を参照しながら、本発明の第 2 の実施の形態における GaN 基板の製造方法を説明する。本実施の形態は、実施の形態 1 のストライプパターンに変えて、ドットパターンとした場合の照射方法に関して示している。

【 0 0 6 0 】

図 6 (a) の基板 1 は実施の形態 1 と同様の直径 2 インチ、厚さ 7 0 0 ミクロンのサファイア基板である。

【 0 0 6 1 】

まず、第 1 の工程である凹凸形成工程を行う。

【 0 0 6 2 】

実施の形態 1 と同様のフォトリソグラフィーを用いて、レジスト 2 を設置した (図 6 (b))。パターン形状は、図 7 に示すようなドットパターンであり、レジスト 2 は直径 $10\text{ }\mu\text{m}$ の円形であり、各レジスト 2 間の距離は $30\text{ }\mu\text{m}$ である。レジスト 2 は、一辺 $30\text{ }\mu\text{m}$ の正三角形を最密に並べたときの各正三角形の頂点の位置に配置されている。このときの正三角形の辺がサファイア基板 1 の $[1-100]$ 方向となるように開口部が配置されている。なお、基板の最端で、円形が欠けたレジスト 2 が存在すると、その部分で窒化物半導体層の成長が良好に行われな可能性があるので、基板の最端はレジストがない形状としている。

【 0 0 6 3 】

実施の形態 1 と同じ R I E でサファイアのエッチングを行った。サファイアを $1\text{ }\mu\text{m}$ エッチングして、レジストを除去して、凸部 1 a と凹部 1 b とを有する母材基板が得られた (図 6 (c))。凸部 1 a、凹部 1 b の断面形状は図 2 とほぼ同じで、凸部 1 a が $10\text{ }\mu\text{m}$ の幅に対し、左右約 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ サイドエッチングされている。凹部 1 b は底部において $30\text{ }\mu\text{m}$ である。

【 0 0 6 4 】

次に、第 2 の工程である窒化物半導体層の成長を行った。

【 0 0 6 5 】

実施の形態 1 と同様の条件で、H V P E 法により G a N の成長を行った。

【 0 0 6 6 】

G a C l 処理後、G a N 層 2 の成長を実施した。凸部 1 a は円形であるが、 $\{1-101\}$ 面の成長速度が比較的遅いため、 $1\ \mu\text{m}$ 程度 G a N を成長した段階で、凸部 1 a の斜面は 6 つの $\{1-101\}$ 面と主面の (0001) 面とで囲まれた G a N 層 3 に覆われる。

【 0 0 6 7 】

また、開口部の配置を図 6 のようにしたために、隣り合うドットから張り出してきた G a N 同士は、 $\{1-101\}$ 面で合体し、平坦に埋め込みが行われた。

【 0 0 6 8 】

G a N 層 3 の厚さが $200\ \mu\text{m}$ となるまで成長を行った。凹凸は埋め込まれ、平坦な表面の G a N 層 3 が得られた。

【 0 0 6 9 】

成長後、室温付近まで基板温度を降下させ、基板を取り出した。G a N 層 3 とサファイア基板 1 との熱膨張係数差のため、反りを生じた（図 6 (d)）。生じた反りは方向による依存性はほぼなく、曲率半径は $1\ \text{m}$ 程度となった。

【 0 0 7 0 】

次に、第 3 の工程であるレーザ照射工程を行った。

【 0 0 7 1 】

レーザ照射は、実施の形態 1 と同じ装置を用いた。レーザ照射条件も実施の形態 1 と同じであり、G a N 層 3 に照射される位置でのレーザ光の径は $20\ \mu\text{m}$ である。レーザのパルス周波数は $50\ \text{kHz}$ である。このとき、開口部の径は $10\ \mu\text{m}$ であり、レーザ光の径の $20\ \mu\text{m}$ より小さいので、1 回のパルス照射で 1 つの凸部 1 a を照射できる。

【 0 0 7 2 】

レーザ光は凸部 1 a に同期して照射した。具体的に、最近接の開口部の間隔は

30 μ mであり、パルス周波数が50 kHzであるから、走査速度を150 cm毎秒とすることで、1列の凸部1aに同期してパルス照射することができる。この際、好ましくは画像認識手段からの位置情報をスキャンレンズにフィードバックして、照射位置を微調整しながら照射を行うのが良い。

【0073】

レーザ光照射を行うとGaN層3はレーザ光を吸収して加熱される。パルス幅が30 nsと短くかつ光密度が強いので、GaN層3は、レーザ光照射された部分のみ局所的に加熱され、照射部分がGa11と窒素に分解される。

【0074】

本実施の形態では、レーザ照射位置の周囲はサファイア基板1の凹部1bが配置されているので、実施の形態1と同様の効果が得られる。すなわち、レーザ照射によって、凸部1aにおいてGaN層3が分解されると、応力は凹部1b上のGaN層3が(0001)面で分割することで解放される。また、高圧の窒素も、GaN層3とが適当な形状で分離することで発散される。

【0075】

したがって、本実施の形態ではレーザ照射工程中にGaN層3の主面垂直方向に伸展するクラックが生じることは無かった。

【0076】

凸部1aすべてを照射することで、サファイア基板1とGaN層3とが分離された(図6(e))。

【0077】

最後に、HClによってGa11を除去し、研磨によってGaN層3裏面の凹凸を除去してGaN基板3を得た。GaN基板3は、2インチの大きさであり、厚さは180 μ mでクラックはなく自立していた(図6(f))。

【0078】

本実施の形態では、凸部1aのみ照射しているため、基板全面を照射する場合に比べ、照射時間を短くすることができる。

【0079】

しかも、各凸部1aが分散して設置されているため、一つの凸部1aを一つの

パルスレーザ照射で分離するようにしている。そのため、レーザ照射位置が互いに重なるように照射する必要がなく、実施の形態 1 よりさらに照射時間を短くすることができる。具体的に、 $20\mu\text{m}$ 径のレーザを用い、本実施の形態では 2 インチ基板に対してわずか約 1 分 3 0 秒でレーザ照射工程が終了した。一方、従来のような基板全面照射では前述のように、レーザ照射工程におよそ 3 0 分もの時間が必要であり、著しくレーザ照射工程を短くすることができた。

【 0 0 8 0 】

また、本実施の形態では、凸部 1 a が周期的なドット状となっているため、光軸の走査が単純となり、効率的に照射を行うことができる。

【 0 0 8 1 】

また、本実施の形態では、凹凸を有するサファイア基板 1 上に GaN 層 3 を埋込成長した結果、GaN 層 3 表面での貫通欠陥密度は凹部 1 b 上で $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ であった。

【 0 0 8 2 】

以上示したように、レーザ照射時間を約 1 分 3 0 秒と著しく低減した上に、欠陥密度を著しく低減した領域を有する GaN 基板を得ることができた。

【 0 0 8 3 】

なお、本実施の形態では、凸部 1 a の形状を円形としたが、レーザ光に納まる形状であればどのような形状でも良いことは言うまでもない。なお、より好ましくは、凸部 1 a を構成する辺の形状を、GaN の $[1-100]$ 方向となるように構成してもよい。

【 0 0 8 4 】

なお、本実施の形態では、凸部 1 a の配置を正三角形を最密に並べたときの各正三角形の頂点位置としたが、他の並べかたでも同様にレーザ照射すべき面積を少なくして、レーザ照射工程を短くできることは言うまでもない。なお、この場合において、前述のように、GaN の $\{1-101\}$ 同士が合体するように、凸部 1 a を配置することが、より好ましいことは言うまでもない。なお、この場合において、凸部 1 a を周期的に並べることにより光軸の走査を単純にすることが、より好ましいことは言うまでもない。

【 0 0 8 5 】

(実施の形態 3)

図 8 を参照しながら、本発明の第 3 の実施の形態における G a N 基板の製造方法を説明する。本実施の形態は、実施の形態 2 のドットパターンにおいて、照射方法を変形した場合に関して示している。

【 0 0 8 6 】

図 8 (a) の基板 1 は実施の形態 2 と同様の直径 2 インチ、厚さ 7 0 0 ミクロンのサファイア基板である。

【 0 0 8 7 】

まず、第 1 の工程である凹凸形成工程を行う。

【 0 0 8 8 】

実施の形態 2 と全く同様に、このサファイア基板 1 にレジスト 2 を設置しフォトリソグラフィーを用いて、レジスト 2 のパターニングを行う (図 8 (b)) 。パターン形状は、実施の形態 2 と同じく、図 7 に示すようなドットパターンである。次に R I E によってサファイア基板 1 を 1 μ m の深さにエッチングし、レジスト 2 を除去することで凸部 1 a と凹部 1 b を有する母材基板を得た (図 8 (c)) 。

【 0 0 8 9 】

次に、第 2 の工程である窒化物半導体層の成長を行った。

【 0 0 9 0 】

実施の形態 2 と全く同様の条件で、 H V P E 法により G a N の成長を行った。

【 0 0 9 1 】

G a C l 処理後、G a N 層 3 の成長を実施した。G a N 層 3 の厚さが 2 0 0 μ m となるまで成長を行った。凸部 1 a は埋め込まれ、平坦な表面の G a N 層 3 が得られた。成長後、室温付近まで基板温度を降下させ、基板を取り出した。G a N 層 3 とサファイア基板 1 との熱膨張係数差のため、曲率半径 1 m 程度の反りを生じた (図 8 (d)) 。

【 0 0 9 2 】

次に、第 3 の工程であるレーザ照射工程を行った。

【 0 0 9 3 】

レーザ照射は、実施の形態 1 と同様の装置を用いたが、レーザ装置 4 をより高出力のものに変更した。波長は 3 5 5 n m の N d : Y A G の 3 次高調波とした。レーザ装置が高出力なため、集光面積を 5 m m 径まで広げてみてもなお、 $2.0 \text{ J} / \text{cm}^2$ の光密度が得られた。ただし、繰り返し周波数は高出力なために遅く、1 0 H z である。パルス幅は 1 0 n s で、界面を局所的に加熱するのに十分なパルス幅の長さである。

【 0 0 9 4 】

実施の形態 1 ないし実施の形態 2 と同様、レーザ光はサファイアに対して透明であるので、サファイア基板 1 を通して、G a N 層 3 に照射した。

【 0 0 9 5 】

レーザ光は、少なくとも、凸部 1 a 上の G a N 層 3 全てを照射するため、G a N 層 3 全面にわたって照射した。具体的に、照射位置が 2 m m ずつ重なるように、基板の周囲から内側へと照射を行った。なお、レーザ走査の線速度を 3 0 c m 毎秒とすることで、2 m m ずつ照射位置を重ねることができる。外周から基板の形状に従って円形に照射を行い、一周照射を完了したときに、照射位置を 3 m m 基板の内側として照射を繰り返していくことで、半径方向へも照射位置を 2 m m 重ねることができる。

【 0 0 9 6 】

レーザ光照射を行うと G a N 層 3 はレーザ光を吸収して加熱される。パルス幅が 1 0 n s と短くかつ光密度が強いので、G a N 層 3 は、レーザ光照射された部分のみ局所的に加熱され、照射部分が G a l l と窒素に分解される。

【 0 0 9 7 】

本実施の形態では、凸部 1 a の周囲に凹部 1 b が配置されているので、実施の形態 1 と同様の効果が得られる。特にレーザスポットの周辺部において、レーザ照射によって G a N 層 3 が分解されると、応力はレーザ照射されていない凹部 1 b 上の G a N 層 3 が (0 0 0 1) 面で分割することで解放される。また、高圧の窒素も、G a N 層 3 が (0 0 0 1) 面で分離することで発散される。

【 0 0 9 8 】

したがって、本実施の形態ではレーザ照射工程中にGaN層3の表面方向に伸展するクラックが生じることは無かった。

【0099】

サファイア基板1とGaN層3とが直接接している領域すべてを照射することで、GaN層3の裏側ほぼ全面にGa11を生じた。また、 2.0 J/cm^2 とレーザ強度が大きいため、凸部1aの斜面にもGa11を生じた。Ga11の付着力は非常に弱いため、GaN層3を持ち上げるだけで容易にサファイア基板1とGaN層3とが分離された(図8(e))。この際、凹部1b上のGaNには(0001)面のクラックが生じているため、一部の凹部1bはGaN3aを残して剥がれた。

【0100】

最後に、HClによってGa11を除去し、裏面の凹凸を研磨により除去してGaN基板3を得た。GaN基板3は、2インチの大きさであり、厚さは $180\text{ }\mu\text{m}$ でクラックはなく自立していた(図8(f))。

【0101】

本実施の形態では、各凸部1aが分散して設置されているが、一度のパルス照射径が5mmもあり、一度におおよそ1万個強の開口位置を照射しているため、著しく照射時間を低減することができる。具体的に、本実施の形態では2インチ基板に対してわずか約1分でレーザ照射工程が終了した。

【0102】

なお、本実施の形態では、レーザ光の周辺部で、ある凸部の一部分のみが照射により分解される場合がある。この場合でも、基板に垂直な方向のクラックは生じず、凸部1aの周辺部の凹部1bが(0001)面に沿って分割された。そのため、パルス照射径を大きくしても、応力が集中してGaN層3にクラックが導入されたり、割れたりすることが防げた。

【0103】

また、GaN層3は凹凸を有するサファイア基板上に埋め込み成長されているので欠陥密度は凹部1b上で $1 \times 10^6\text{ cm}^{-2}$ と小さい値であった。

【0104】

以上示したように、照射径を大きくしてレーザ照射時間を著しく低減した上に、クラックや割れがなく、欠陥密度を著しく低減した領域を有するGaN基板を得ることができた。

【0105】

なお、本実施の形態では、基板全面を照射しているが、少なくとも凸部1aのみ照射するようにすれば良いことは言うまでもない。また、そのようにすると、基板全面を照射する場合に比べ、照射時間を短くすることができる。

【0106】

(実施の形態4)

本発明の実施の形態4における検討について示す。実施の形態4は、工程は実施の形態2と全く同様に、隣接する凸部1aの間隔を変化させた場合を検討した例である。工程を表す図は、図6と全く同じとなるため、省略する。

【0107】

隣接する凸部1aの間隔を変化させることで、凸部1aが占める面積と凹部1bが占める面積の比を変化させたときの、2インチ全面の分割に関して調べた。

【0108】

凹部1bの面積が凸部1aの面積の1/5未満となると、レーザ光を照射してGaN層3が分解したときに、GaN層3が(0001)面で割れる領域が不十分なため、クラックがついにはGaN層3の表面方向に伸展してしまった。なお、凹部1bの面積が凸部1aの面積の1/5では、凸部1a同士がつながって、凸部内に凹部が散在するような状態になっていることは言うまでもない。凹部1bの面積が凸部1aの面積の1/5以上とすると、クラックが表面方向に伸展せず、2インチのGaN基板が得られることがあった。

【0109】

より好ましくは、凹部1bの面積を凸部1aの面積の1/2以上とすることで、ほぼ全数において2インチのGaN基板を得ることができる。

【0110】

凹部1bの面積が広い場合に関しては、凹部1bの面積が凸部1aの面積の100倍を超えると、全ての凸部1aをレーザ光を照射しても、GaN層3が(0

0 0 1) 面で割れる面積が凹部 1 b 全体に達しなかった。そのため、サファイア基板 1 から G a N 層 3 を分離できなかった。G a N 層 3 とサファイア基板 1 とを分割するためには、少なくとも凹部 1 b の面積が凸部 1 a の面積の 1 0 0 倍以下とする必要があった。

【0 1 1 1】

より好ましくは、凹部 1 b の面積を凸部 1 a の面積の 2 0 倍以下とすることで、ほぼ全数において 2 インチの G a N 基板を得ることができる。

【0 1 1 2】

なお、凹部 1 b の面積が大きすぎるため、サファイア基板 1 から G a N 層 3 が分離できなかった場合においては、サファイア基板 1 と G a N 層 3 が付着している領域を再度レーザ照射することで、2 インチ全面の分離が可能なのは言うまでもない。

【0 1 1 3】

なお、本実施の形態の検討は、凸部の配置が偏っている場合、極端な例で、2 インチ基板の半分に凸部が集中したような場合では、異なった傾向となることは言うまでもない。しかし、例えば、数 1 0 個の凸部を含む領域で密度を調べて、おおよそ密度が均一であるような凸部の配置においては、ほぼ同等の傾向が得られることは言うまでもない。

【0 1 1 4】

【発明の効果】

以上のように、本発明の窒化物半導体基板の製造方法によれば、レーザ照射による母材基板から窒化物半導体層の剥離を用いて、クラックや割れのない、かつ欠陥密度が低減された領域を有する窒化物半導体基板を量産性よく製造する方法を提供できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の形態 1 における窒化物半導体基板の製造方法を示す断面図

【図 2】

本発明の実施の形態 1 における凹凸の形状を示す断面図及び平面図

【図 3】

本発明の実施の形態 1 におけるレーザ照射機構を示す断面図

【図 4】

本発明の実施の形態 1 における G a N 層 3 中の応力の様子を示す断面図

【図 5】

本発明の実施の形態 1 における G a N 層 3 中の貫通欠陥の様子を示す断面図

【図 6】

本発明の実施の形態 2 における窒化物半導体基板の製造方法を示す断面図

【図 7】

本発明の実施の形態 2 における凹凸の形状を示す図

【図 8】

本発明の実施の形態 3 における窒化物半導体基板の製造方法を示す断面図

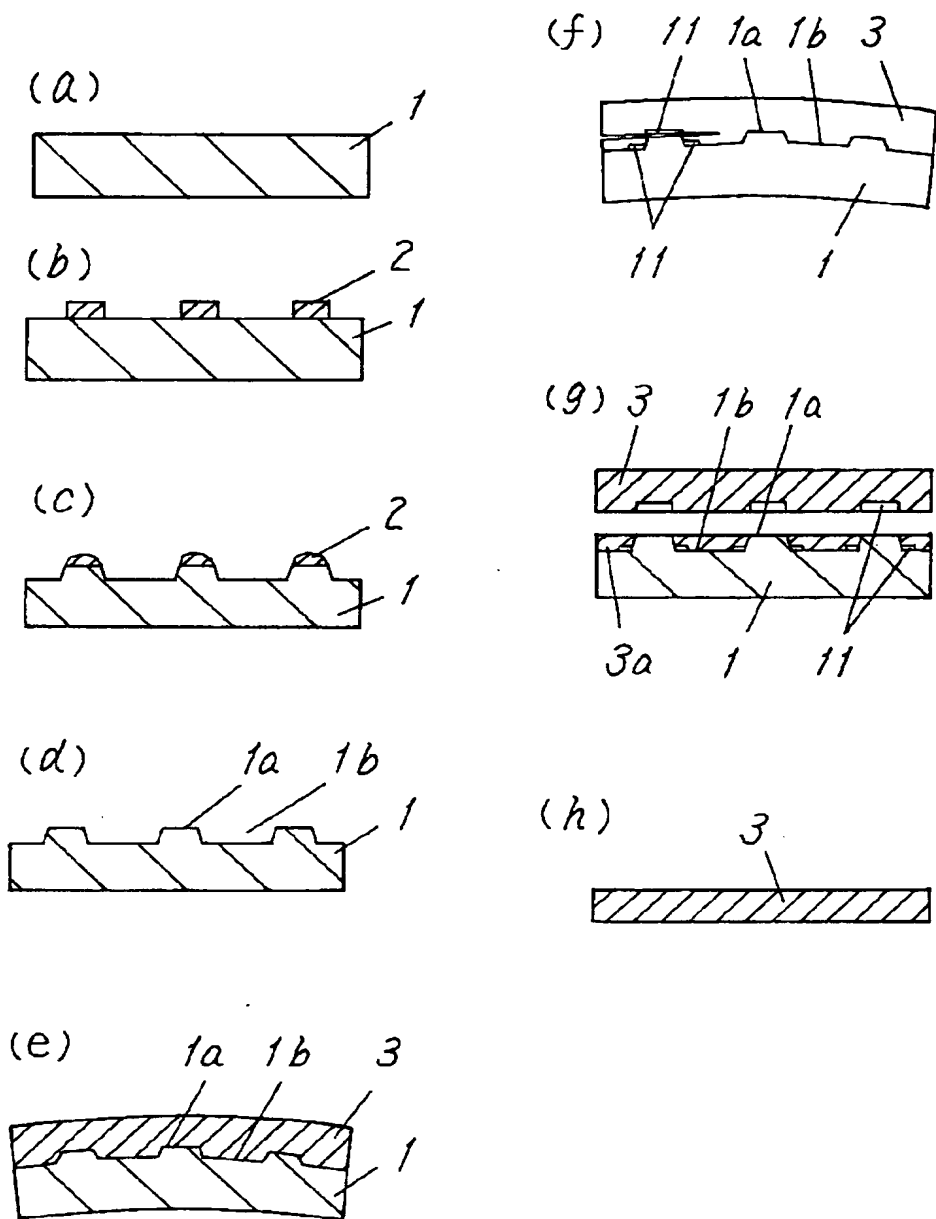
【符号の説明】

- 1 母材基板
- 1 a 凸部
- 1 b 凹部
- 2 レジスト
- 3 G a N 層
- 3 a G a N
- 4 レーザ装置
- 5 スキャンレンズ
- 6 集光手段
- 7 ミラー
- 8 画像認識手段
- 9 可視光
- 1 0 レーザ光
- 1 1 G a
- 2 0 応力集中領域
- 2 1 G a N 層が膨張しようとする応力

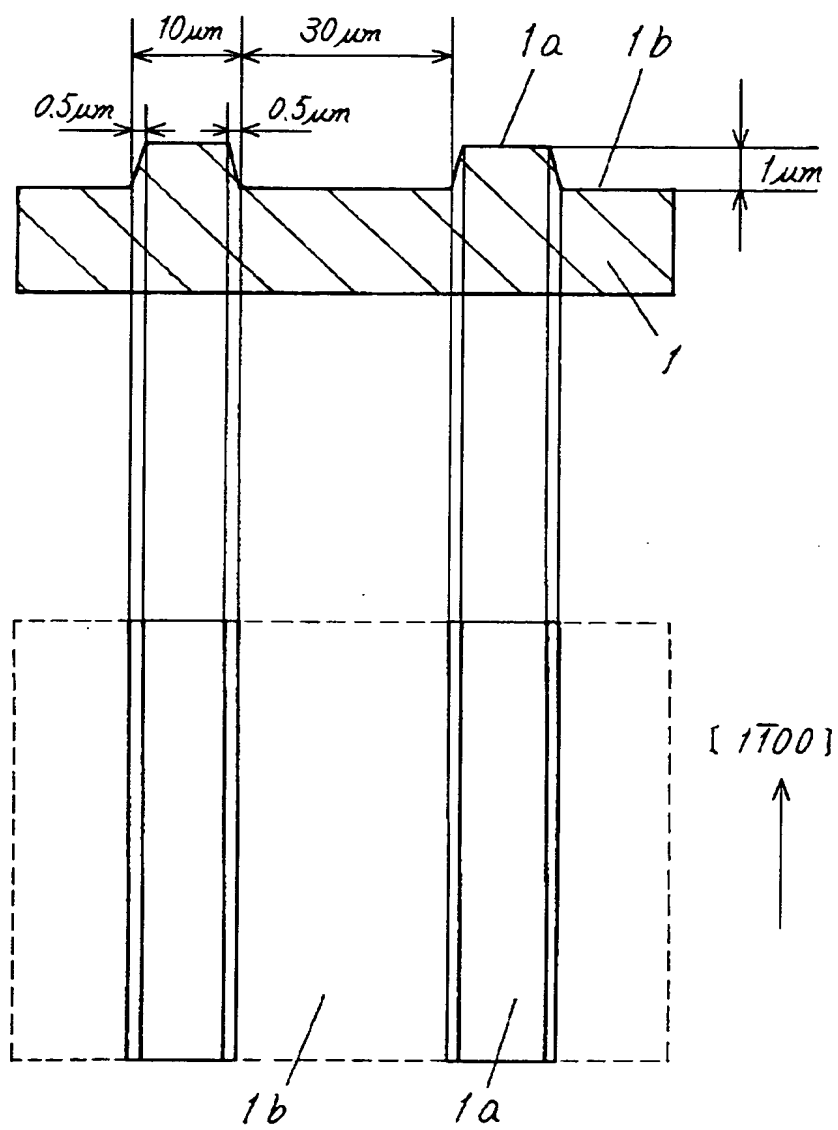
- 2 2 サファイアが収縮しようとする応力
- 2 3 クラック
- 3 0 貫通欠陥

【書類名】 図面

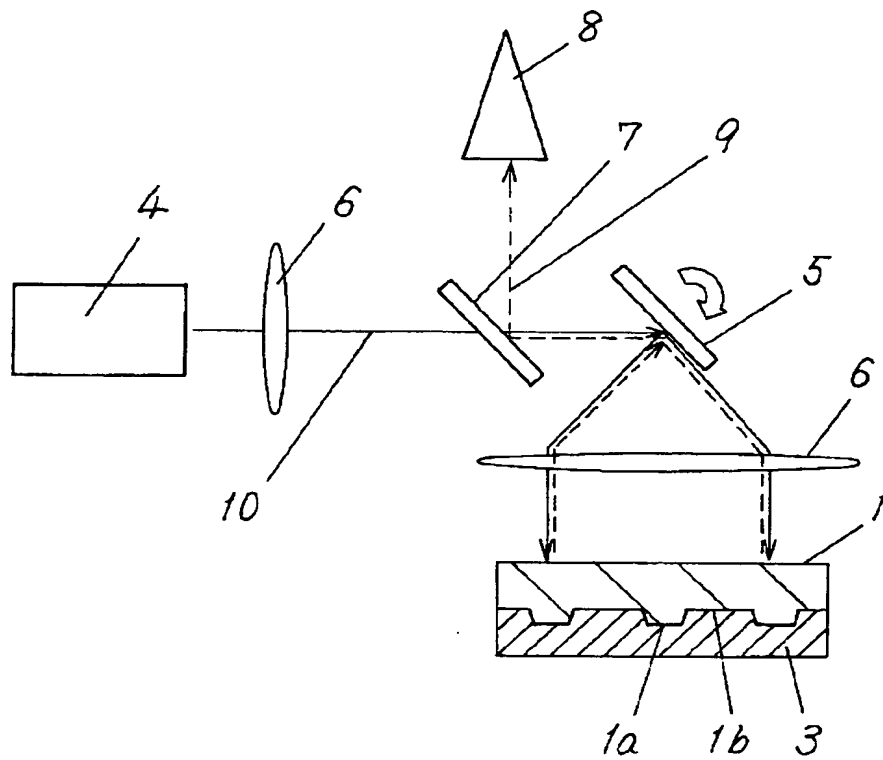
【図 1】



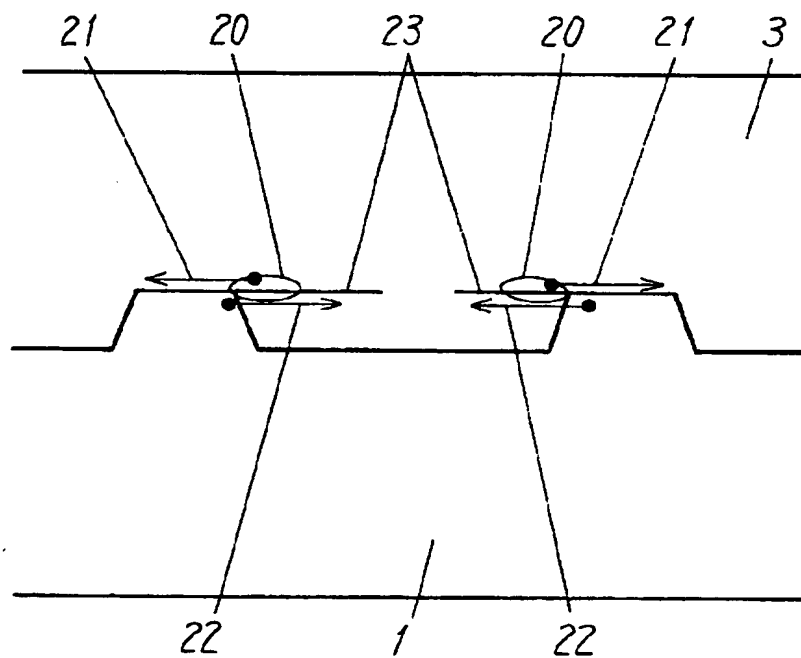
【図 2】



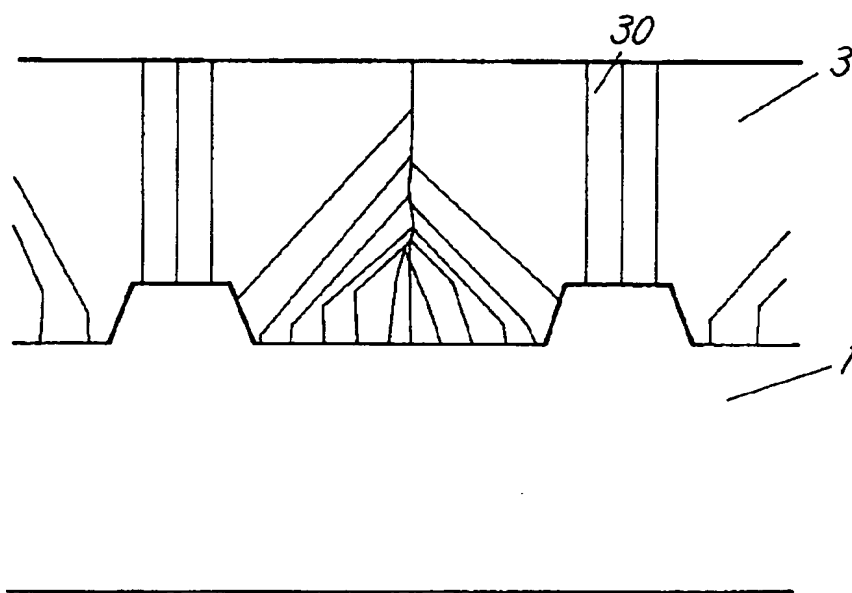
【図3】



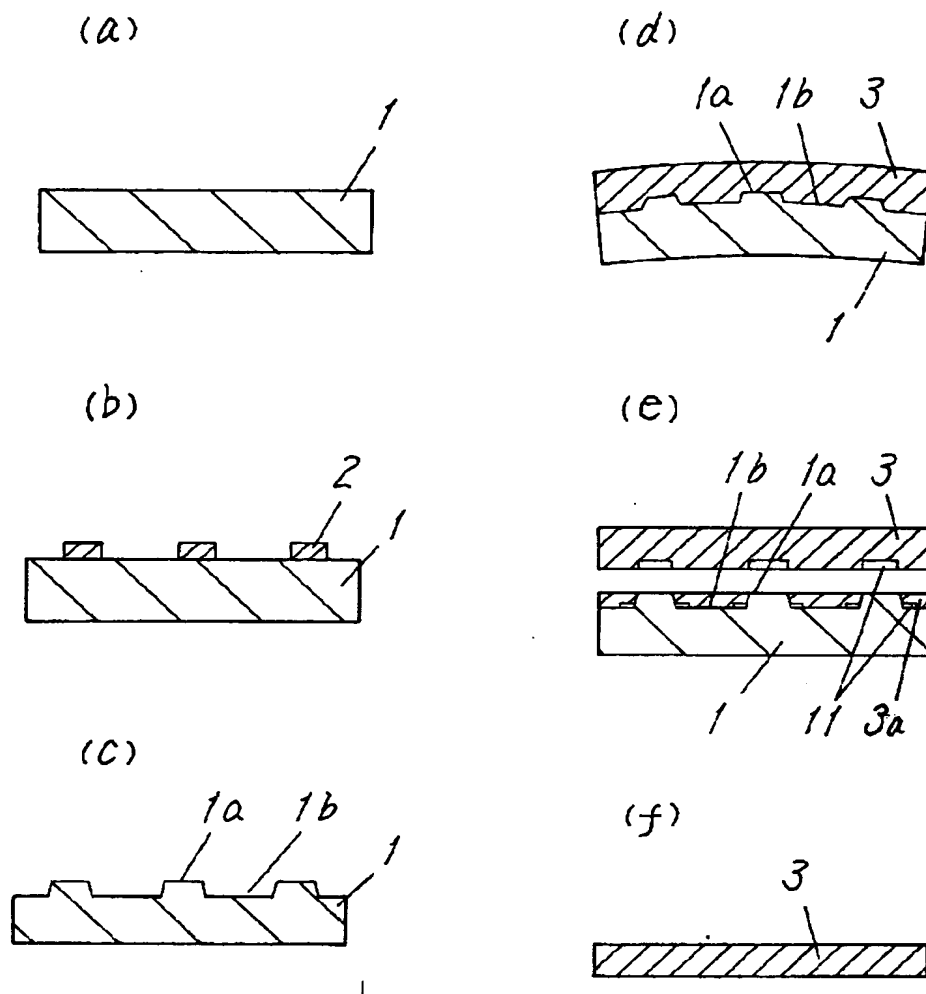
【図4】



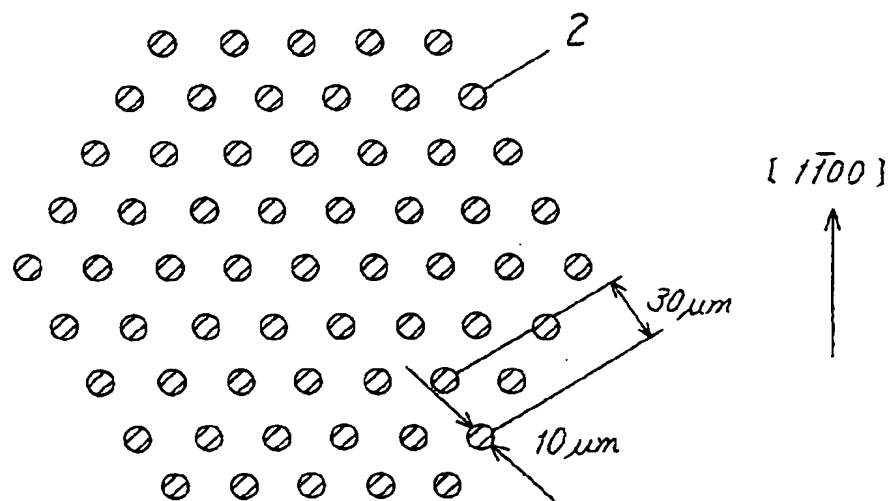
【図 5】



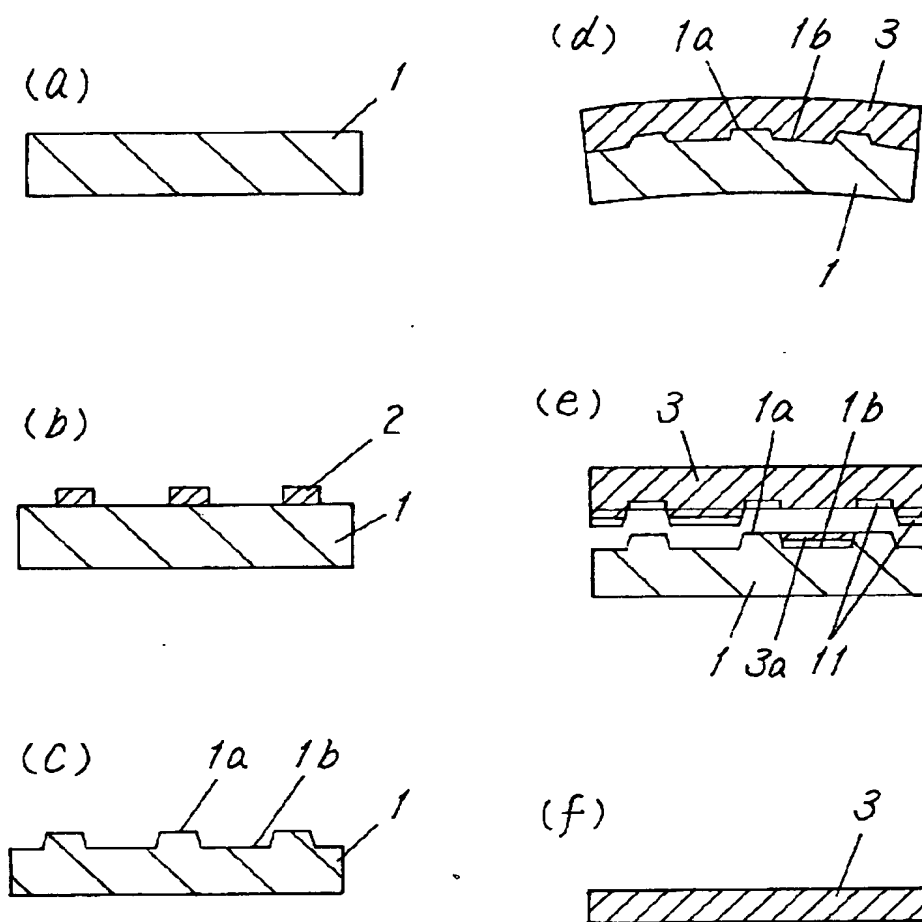
【図6】



【図7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 レーザ照射により母材基板と窒化物半導体を分離して窒化物半導体基板を製造する際に、クラックや割れの発生なく窒化物半導体基板を製造する方法を提供する。

【解決手段】 母材基板の表面に凹凸を設け、その上に窒化物半導体を成長させ、レーザ照射により母材基板と窒化物半導体を分離することで窒化物半導体基板を得る。好ましい実施形態では、凹凸の少なくとも凸部にレーザ照射を行う。

【選択図】 図 1

【書類名】 出願人名義変更届（一般承継）

【提出日】 平成13年 4月26日

【あて先】 特許庁長官 殿

【事件の表示】

【出願番号】 特願2001- 19549

【承継人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代表者】 中村 ▲邦▼夫

【提出物件の目録】

【物件名】 権利の承継を証明する書面 1

【援用の表示】 平成13年 4月16日付提出の特許番号第31505
60号の一般承継による特許権の移転登録申請書に添付
した登記簿謄本を援用する。

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 8 4 3]

| | |
|----------|-------------------|
| 1. 変更年月日 | 1 9 9 3 年 9 月 1 日 |
| [変更理由] | 住所変更 |
| 住 所 | 大阪府高槻市幸町 1 番 1 号 |
| 氏 名 | 松下電子工業株式会社 |

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 8 日
[変更理由] 新規登録
住 所 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地
氏 名 松下電器産業株式会社